

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN
ESPECIAL

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA RED INALÁMBRICA INTERNA DEL
MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES Y MOVILIDAD HUMANA -
MREMH”

Javier Sebastián Saltos Vaca

Quito – 2018

AUTORÍA

Yo, Javier Sebastián Saltos Vaca, portador de la cédula de ciudadanía No. 060346845-5, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Javier Sebastián Saltos Vaca

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	JUSTIFICACIÓN	6
3	ANTECEDENTES	6
4	OBJETIVOS.....	9
4.1	OBJETIVO GENERAL	9
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
5	DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO.....	10
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11n: TIPO DE INTERFERENCIAS Y MÉTRICAS DE DESEMPEÑO.....	10
5.1.1	Principales características del estándar IEEE 802.11n.....	10
5.1.2	Tipo de interferencias.....	15
5.1.3	Métricas de desempeño	17
5.2	MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA RED INALÁMBRICA (ESTÁNDAR IEEE 802.11n) EN UN AMBIENTE DE PRODUCCIÓN DENTRO DEL MREMH	19
5.2.1	Identificación de los Access Point presentes en los edificios del MREMH.....	19
5.2.2	Identificación de las redes inalámbricas configuradas para uso del MREMH....	23
5.2.3	Materiales a utilizar	26
5.2.4	Escenario	27
5.2.5	Configuraciones de red.....	28
5.2.6	Configuración de herramienta de medición	29
5.3	REVISIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS.....	31
5.3.1	Retardo End to End o Latencia.....	31
5.3.2	Jitter o Variación del Retardo.....	32
5.3.3	Pérdida de paquetes o Packet Loss.....	33
5.3.4	Rendimiento o Throughput normalizado	34
5.4	PROPUESTA DE MEJORA DE LA RED INALÁMBRICA INSTALADA EN LOS EDIFICIOS DEL MREMH.....	36
5.4.1	Equipamiento	38
5.4.2	Diseño Lógico	39
5.4.3	Posición de APs.....	39
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
6.1	CONCLUSIONES.....	41
6.2	RECOMENDACIONES	41
	ÍNDICE DE GRÁFICOS	43

ÍNDICE DE TABLAS	43
REFERENCIAS	44
ANEXOS	49

1 INTRODUCCIÓN

El presente caso de estudio buscará realizar un análisis de la red de comunicaciones inalámbrica (tecnología WiFi - estándar IEEE 802.11 b/g/n) instalada en los edificios del Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana – MREMH y entregar una propuesta de mejora a la misma.

El informe se estructurará de la siguiente manera: Para iniciar con el caso de estudio, se realizará una revisión de las características del estándar IEEE 802.11n, lo que nos permitirá evaluar el estado del arte en cuanto al desempeño de las redes inalámbricas y el comportamiento de los parámetros de Calidad de Servicio (Quality of Service – QoS por sus siglas en inglés) en dicho estándar en un ambiente de producción. Adicionalmente se presentan los tipos de interferencia que influyen en una red inalámbrica y se identifican las métricas de desempeño que se utilizarán para el análisis.

En la segunda parte del informe se detallará la metodología aplicada en la investigación y las fases en las que se recogerán mediciones, las cuales serán posteriormente analizadas y se presentarán resultados. Las mediciones serán tomadas en un ambiente de producción en distintos canales del estándar, utilizando herramientas adecuadas para dichos procedimientos.

Una vez realizado el análisis de los datos recogidos, se presentarán los resultados tomando como base los parámetros base del estándar IEEE 802.11n como son: rendimiento, paquetes perdidos, retardo y variación del retardo, dentro del ambiente de producción.

De esta evaluación, se desprenderá una propuesta de mejora de la red inalámbrica interna del Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana – MREMH, junto con un estudio económico financiero de la misma.

Para finalizar, se presentarán las conclusiones y recomendaciones que se desprenderán del análisis de las métricas obtenidas y resultados presentados a lo largo de la evaluación.

2 JUSTIFICACIÓN

La principal justificación para el desarrollo de este caso de estudio, radica en determinar el rendimiento de la red inalámbrica instalada en los edificios del Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana – MREMH, ya que al tratarse de una institución pública de suma importancia para la Función Ejecutiva, tiene como uno de sus objetivos operativos el brindar y garantizar un servicio adecuado de acceso a Internet tanto a funcionarios de la institución, como visitantes de otras instituciones e incluso de organizaciones internacionales.

Lo que el presente caso de estudio pretende, es entregar una propuesta de mejora al esquema o servicio de la red inalámbrica del MREMH y un estudio económico financiero de la misma, la cual permita mejorar el servicio que es prestado a los usuarios finales.

3 ANTECEDENTES

En 1830, la ciudad de Quito pasó a constituirse en la capital de la República del Ecuador. Desde los primeros años hasta finales del siglo XIX, la política exterior estuvo encomendada al Ministerio de lo Interior. Desde 1897 se organizó el Ministerio de Relaciones Exteriores como cartera independiente y en 1943 el Presidente Carlos Arroyo del Río autorizó que se celebre el contrato de compra-venta de la propiedad de la señora Susane Deladéle de Najas, situada entre la Av. 18 de Septiembre -actual Av. 10 de Agosto- y Jerónimo Carrión para utilizarlo como local del Ministerio de Relaciones Exteriores. La Casona sufrió cambios sustanciales a partir de los años cincuenta y en 1954 se emprendió la remodelación del edificio de la Cancillería, esto implicó el derrocamiento de una parte de la construcción antigua y el área ubicada entre la calle Carrión y la Avenida 10 de Agosto fue ocupada por el actual edificio de seis pisos (Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana, s.f.).

Debido al crecimiento institucional y con la finalidad de cumplir con los objetivos establecidos, el Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana se encuentra haciendo uso de edificaciones cercanas al Palacio de Najas y al edificio principal. El edificio Páez, ubicado en la calle Gral. Ulpiano Páez, entre Jerónimo Carrión y Gil Ramírez Dávalos.

El Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana (MREMH) es el rector de la política internacional y es responsable de la gestión y coordinación de la misma, la integración latinoamericana y la movilidad humana, respondiendo a los intereses del pueblo ecuatoriano, al que le rendirá cuentas de sus decisiones y acciones en cumplimiento de los principios constitucionales y de las normas del derecho internacional, en el marco de los planes nacionales de desarrollo (Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana, s.f.-a)

En concordancia con el desarrollo tecnológico y los avances en materia de gobernanza electrónica dentro de las instituciones gubernamentales, el Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana lleva implementando soluciones que cubran tanto las necesidades institucionales y de sus funcionarios, como de la ciudadanía que hace uso de los servicios que brinda la institución.

Dentro del portafolio de soluciones implementadas a lo largo de la gestión institucional, la red inalámbrica se ha convertido en uno de los activos tecnológicos más importantes en cuanto a las operaciones y actividades diarias que se desarrollan a la interna del MREMH. La red inalámbrica es utilizada tanto para tareas básicas como la navegación en internet por parte de los funcionarios y visitantes como para la transmisión en vivo de eventos de relevancia nacional e internacional que se desarrollan en los salones y áreas públicas de la institución.

Utilizando términos técnicos, una red es un conjunto complejo de múltiples equipos y dispositivos conectados entre ellos que utilizan un sistema de comunicaciones y cuyo objetivo es que dichos componentes se comuniquen y compartan archivos, además que permite maximizar la productividad, minimizar los costos y obtener ventajas competitivas (Lema Ayala & Saltos Vaca, 2011).

Con respecto a esta premisa, las redes inalámbricas han ido ganando un papel preponderante en las operaciones diarias de organizaciones públicas, privadas, educativas, comerciales, etc., ya que existen lugares donde no es conveniente o resulta dificultosa, la instalación de uno o varios puntos de red cableada, como por ejemplo una sala de conferencias o un auditorio.

En cuanto al aumento del uso y utilidad de este tipo de redes, se han identificado factores internos, de diseño o externos que afectan la cobertura y el rendimiento de las mismas (Acrylic WiFi, s.f.), y que son percibidas por los usuarios finales cuando requieren acceder a servicios como la navegación por internet, acceso al correo electrónico, el uso de herramientas colaborativas, etc.

De los problemas que presentan las redes inalámbricas del estándar 802.11, uno de los más importantes y comunes es la interferencia, ya sea co-canal, de canal adyacente o aquellas que se generan de dispositivos que no utilizan el estándar 802.11 como un horno microondas o los teléfonos analógicos inalámbricos.

La interferencia co-canal y la interferencia de canal adyacente son difíciles de controlar en la práctica por los procesos aleatorios de propagación, a pesar de que son generados en el mismo sistema inalámbrico. De acuerdo a Metageek (s.f.), la interferencia co-canal no genera problemas mayores hasta que muchos dispositivos inalámbricos 802.11 se conecten a un mismo canal; por otro lado, la interferencia de canal adyacente es aquella que genera más problemas y la selección de canales se vuelve crítica. Estas interferencias pueden ser reducidas o eliminadas al seleccionar el canal apropiado para la red inalámbrica.

En la actualidad, se tienen desplegados 30 puntos de acceso (APs por sus siglas en inglés) entre varios pisos de los tres edificios del Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. Los APs tienen asignados los canales 1, 6 y 11 dentro del estándar IEEE 802.11 b/g/n en la banda de 2,4GHz.

Este escenario, conlleva a que se desarrollen problemas de interferencia co-canal, lo cual presenta problemas de inestabilidad en las conexiones inalámbricas y se presentan cortes en el servicio o retardo en las transmisiones, lo que provoca la inconformidad de los usuarios finales.

Una vez que se ha caracterizado la Institución y se ha descrito básicamente el problema que se presenta, es imperativo presentar una solución mediante el uso de herramientas

que nos permitan tomar mediciones y realizar un análisis de la red inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.11n.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el desempeño y rendimiento de la red inalámbrica (estándar IEEE 802.11n) en un ambiente de producción dentro del MREMH, a través de herramientas y métricas de desempeño.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar y describir el estándar IEEE 802.11n y el tipo de interferencias existentes.
2. Medir el desempeño de la red inalámbrica (estándar IEEE 802.11n) en un ambiente de producción.
3. Revisar los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el ambiente de producción.
4. Diseñar una propuesta de mejora para la red inalámbrica instalada en los edificios del MREMH, de acuerdo a un esquema de calidad de servicio QoS.

5 DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11n: TIPO DE INTERFERENCIAS Y MÉTRICAS DE DESEMPEÑO

De acuerdo a Hiertz et al. (2010), la introducción de los estándares de comunicación inalámbrica 802.11 de la IEEE, permitió la generación y desarrollo de un mercado masivo con un enorme impacto en hogares, oficinas y lugares públicos. Entre los diversos mecanismos de acceso inalámbrico disponible, el estándar IEEE 802.11 o WiFi es el más popular para las redes de área local inalámbrica (WLAN por sus siglas en inglés) (Aman & Sikdar, 2012).

En el año 2002, se llevaron a cabo discusiones en el grupo de trabajo del IEEE encargado del desarrollo del estándar 802.11 para extender las velocidades de datos de la capa física más allá de las de los estándares IEEE 802.11a/g. Como producto de estos grupos de trabajo, se introdujo una nueva tecnología de antena, denominada MIMO (que viene del inglés Multiple-Input, Multiple-Output). Posteriormente, el grupo de tareas IEEE 802.11n (TGn) desarrolló una enmienda al estándar IEEE 802.11, que es el estándar IEEE 802.11n per sé (Perahia, 2008).

Resumiendo los criterios de Facchini (2010), K (2009) y Redpine Signals (2011), las principales ventajas del estándar IEEE 802.11n son:

- Uso de antenas MIMO para maximizar el throughput (tasa de transferencia efectiva o rendimiento).
- Mayor velocidad de transferencia de datos.
- Mayor cobertura y rango de alcance de la red por cada AP, lo que reduce la necesidad de más equipos.
- Es totalmente compatible con equipos que funcionan bajo estándares IEEE 802.11 a/b/g.
- Bajo consumo de energía.

5.1.1 Principales características del estándar IEEE 802.11n

Tomando en cuenta lo indicado por Poole (s.f.) y Cuesta Palacios & Romero Leon (2013), las principales características del estándar 802.11n son las siguientes:

- Uso de tecnología MIMO para brindar una tasa de transferencia teórica máxima de 600 Mbps.
- Opera en doble banda de radiofrecuencia: 2.4 y 5 GHz.
- Modulación OFDM.
- Ancho de canal de 20 o 40 MHz.
- Optimización de carga útil

5.1.1.1 Tecnología MIMO y tasas de transferencia

El estándar IEEE 802.11n se construyó sobre la base de los estándares anteriores de la familia 802.11, agregando Multiple-Input Multiple-Output (MIMO). Teóricamente, presenta un aumento de la tasa máxima de transferencia de datos de 600 Mbps. Además, el estándar IEEE 802.11n utiliza MIMO basado en el uso de múltiples antenas de transmisión y recepción para mejorar el rendimiento del sistema inalámbrico (Sendra, García, Turro, & Lloret, 2011).

Para Facchini (2010), MIMO significa la capacidad de transmitir y recibir simultáneamente sobre múltiples antenas; y sirve para transferir múltiples flujos de datos, es decir colocar más bits en el aire en el mismo tiempo y alcanzar velocidades de datos mayores (multiplexado espacial); o puede servir para transmitir y recibir copias del mismo flujo de datos sobre múltiples antenas para incrementar el rango de alcance (diversidad espacial). A través de la técnica de MIMO se obtiene la capacidad de recibir y/o transmitir flujos de datos simultáneos a través de múltiples antenas.

Existen publicaciones que analizan y enumeran los factores que influyen en la tasa de transferencia ofrecida por el estándar 802.11n, como el de Gerometta (2009) o el de Lara Cueva, Fernández Jiménez, & Morales Maldonado (2016). Entre estos factores, podemos encontrar:

- La cantidad de cadenas de bits que se transmiten simultáneamente entre un AP y un cliente, que pueden variar entre 1 y 4 cadenas de bits.
- La forma de modulación que se aplica.
- El ancho de banda asignado al canal de transmisión, que puede ser de 20 MHz o 40 MHz.

- Es posible implementar SGI (Short Guard Interval), que implica la reducción del gap de tiempo que hay entre símbolo y símbolo.

Combinando los factores antes mencionados, tenemos 128 tasas de transferencia diferentes, véase en el **Gráfico 1**:

Cantidad de Cadenas de Bits	Canales de 20 MHz.	Canales de 40 MHz.
1	7.20 a 72.20 Mbps.	15.00 a 150.00 Mbps.
2	14.40 a 144.40 Mbps.	30.00 a 300.00 Mbps.
3	21.70 a 216.70 Mbps.	45.00 a 450.00 Mbps.
4	28.90 a 288.90 Mbps.	60.00 a 600.00 Mbps.

Gráfico 1: Tasa de transferencias del estándar 802.11n.

De estas 128 tasas de transferencia, el estándar solamente establece un segmento como obligatorias para los productos comerciales, las cuales son: 6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5 y 65 Mbps.

5.1.1.2 Frecuencia de operación

El estándar 802.11n, fue aprobado para operar en la banda de 2.4 GHz al igual que 802.11b / g; y también en la banda de 5 GHz como 802.11a, garantizando una completa compatibilidad (Cuesta Palacios & Romero Leon, 2013).

Con la finalidad de analizar sus ventajas y desventajas, se presenta una comparación entre las frecuencias de operación del estándar 802.11n. Véase en la **Tabla 1**:

Tabla 1: *Ventajas y desventajas de las frecuencias de operación de 2.4 GHz y 5 GHz*

Banda	Ventajas	Desventajas
2.4 GHz	<ul style="list-style-type: none">- Tiene un área de cobertura de señal más amplia.- Altas tasas de transferencia de datos.- Mejor penetración a través de paredes y barreras físicas.- WiFi b/g/n soportado por todos los dispositivos inalámbricos- Funciona en todo el mundo.- Sirve para navegar en internet o acceder al correo electrónico.	<ul style="list-style-type: none">- Debido a que la mayoría de dispositivos WiFi utilizan esta banda, podría existir interferencia si existen muchos dispositivos cerca.- Solamente los canales 1, 6 y 11 no se superponen.- Podría existir interferencia por parte de hornos microondas, dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos u otros dispositivos que funcionen en la banda de 2.4 GHz.
5 GHz	<ul style="list-style-type: none">- Pocos dispositivos WiFi utilizan esta banda, por lo que es menos congestionada y con una interferencia mucho menor.- Dispone de 23 canales que no se superponen.- Soporta una velocidad de red mucho mayor.- Sirve para realizar transmisiones ininterrumpidas (video llamadas, audio, etc.)	<ul style="list-style-type: none">- Tiene un área de cobertura de señal más pequeña.- Tiene un pobre poder de penetración a través de paredes y barreras físicas.- Algunos dispositivos antiguos podrían no funcionar en esta banda.- Se puede producir interferencia de radares que también operan en la banda de 5 GHz.- No está disponible a nivel mundial.

Nota. De acuerdo a Nilsson (2012) y Voyager8 (2014).

5.1.1.3 Modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

La Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal, OFDM, se basa en el concepto de enviar múltiples señales simultáneamente pero en diversas frecuencias ortogonales. Cada frecuencia es modulada sobre una portadora separada en el espectro asignado, de donde, las portadoras separadas se las conoce como subportadoras. Las modulaciones digitales más comunes son la modulación binaria por desplazamiento de fase (BPSK), modulación en cuadratura por desplazamiento de fase (QPSK), y modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Las salidas de todos los moduladores se suman linealmente, y el resultado es la señal a transmitir. Esto conlleva a que OFDM tenga una eficiencia

espectral alta, una tolerancia con los errores de sincronización, resistencia a interferencias de RF y una baja distorsión de multitrayecto (Navarrete Chávez, 2009).

Utilizando la técnica de modulación OFDM, se consigue transmitir grandes cantidades de datos en cada canal sobre una onda de radio.

5.1.1.4 Ancho de Canal

De acuerdo a Navarrete Chávez (2009), el ancho de canal es una medida importante para cuantificar la eficacia de la radio, conocida como eficiencia espectral y medida en bits/Hz y que el estándar 802.11n se aprovecha de una técnica llamada Channel Bonding (canal envolvente) para conseguir utilizar dos canales a la vez, obteniendo un único canal de 40 MHz y velocidades de hasta 108 Mbps.

La norma 802.11n utiliza las dos opciones, ancho de canal de 20 MHz como obligatorio, y de 40 MHz como opcional. Como en los productos propietarios, el ancho de canal de 40 MHz en 802.11n son dos canales adyacentes de 20 MHz unidos. Cuando se utiliza un canal de 40 MHz, 802.11n toma una ventaja adicional ya que cada canal de 20 MHz tiene una pequeña cantidad del ancho del canal que se reserva al comienzo y al final para reducir la interferencia entre esos canales adyacentes; y con un canal de 40 MHz, el final del canal inferior y el comienzo del canal superior no se deben reservar. Estas pequeñas partes del canal se pueden usar para transportar información; y, por lo tanto, 802.11n alcanza un poco más del doble de velocidad, véase en el **Gráfico 2** (Facchini, 2010).

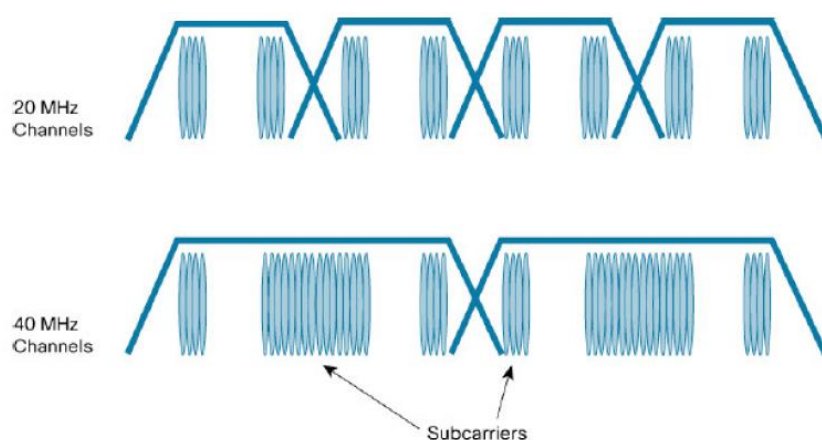


Gráfico 2: Ancho de canal de 20 MHz y 40 MHz.

5.1.1.5 Optimización de carga útil o agregación de tramas

De acuerdo a Cuesta Palacios & Romero Leon (2013) y Facchini (2010), la agregación de tramas es el proceso de agrupar tramas y consiste en eliminar los espacios entre tramas y ubicar una trama a continuación de otra, ofreciendo de esta manera un mejor rendimiento.

Cada trama transmitida por un dispositivo 802.11 tiene una carga adicional de bits para control (overhead) asociada con el preámbulo de radio; y campos de tramas MAC que limitan el rendimiento (throughput) efectivo, aún si la velocidad real de datos fuera infinito, véase en el **Gráfico 3**:

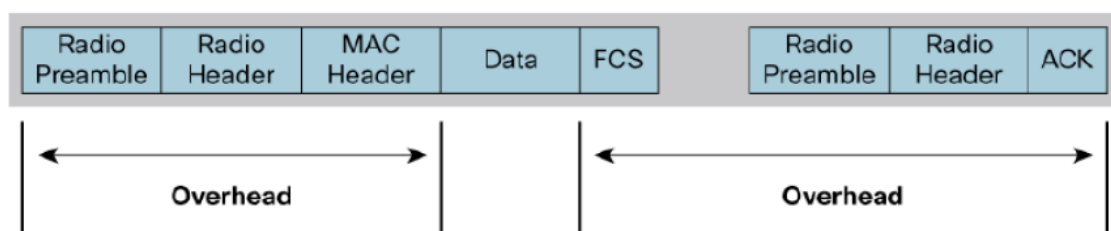


Gráfico 3: Bits de control en las tramas.

Para este proceso, se adoptaron dos técnicas:

- **A-MSDU (MAC Service Data Units Aggregation):** Permite la agregación de múltiples tramas Ethernet con un destino común y las ensambla en una única trama 802.11 para transmitirla. Este mecanismo es el más efectivo de los dos propuestos en la agregación ya que está basado en el hecho de que el formato original de la trama es Ethernet, cuya cabecera es más pequeña en comparación a la de 802.11.
- **A-MPDU (MAC Protocol Data Units Aggregation):** Este mecanismo es un poco distinto al A-MSDU, ya que en lugar de agrupar tramas Ethernet, traduce cada trama Ethernet a formato 802.11 para luego ser recogidas hacia un destino común sin requerir ensamblarlas.

5.1.2 Tipo de interferencias

Las interferencias se pueden definir como un proceso que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal de transmisión entre el emisor y el receptor (Ramírez Luz, 2015) o también se lo denomina en sentido general a cualquier disturbio de radio

frecuencia que proviene de canales cercanos o de otros proveedores de servicio (Butler et al., 2013).

Entre los principales tipos de interferencias que afectan el rendimiento de una red inalámbrica podemos encontrar se tienen las interferencias co-canal y las interferencias de canal adyacente.

5.1.2.1 Interferencia Co-canal

La interferencia co-canal es uno de los problemas comunes al implementar una red inalámbrica, y que puede resolverse con un cambio en la configuración de los equipos de red activos. Este tipo de interferencia ocurre cuando las transmisiones se dan en la misma frecuencia en una misma área (Dionicio, 2016); en otras palabras, cuando un dispositivo escucha tráfico de otro que utiliza el mismo canal.

Una red inalámbrica que experimenta interferencia co-canal, tiene un impacto negativo en su rendimiento cuando existe un aumento en la contención (paredes, muros o bloqueos físicos) y esto se lo puede notar en mayor medida en áreas de alta densidad. Cuando los dispositivos intentan utilizar el medio (red), podrían tener que esperar a que otros completen sus transmisiones. Desde la perspectiva del usuario final, puede parecer que la red inalámbrica es lenta o no funciona por completo.

5.1.2.2 Interferencia de canal adyacente

Este tipo de interferencia ocurre cuando las trasmisiones son enviadas a través de canales adyacentes (inmediatamente inferior o superior) o que se sobreponen de manera parcial, véase en el **Gráfico 4**. Los canales se sobreponen a otros canales, lo que añade ruido a las transmisiones, como resultado, este tipo de interferencia es peor que la interferencia co-canal.

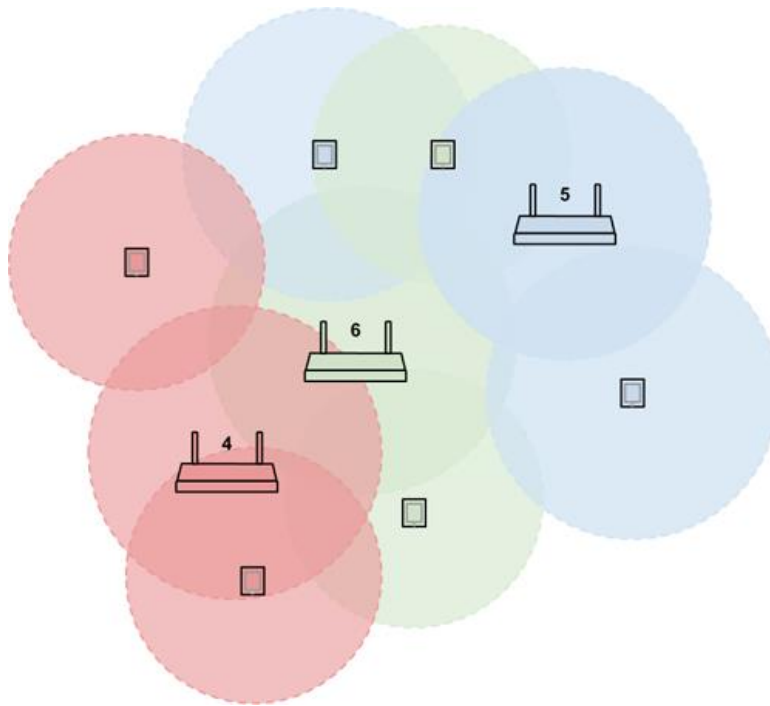


Gráfico 4: Interferencia de canal adyacente. Ejemplo tomado de (Metageek, s.f.).

5.1.3 Métricas de desempeño

Para realizar el análisis de la red del MREMH, hay que determinar y tomar en cuenta que se trata de una red convergente, es decir, es una red de comunicaciones que soporta diferente tipo de tráfico o aplicaciones (voz, vídeo, datos, etc.), de manera simultánea sobre una misma infraestructura (Chafra Altamirano, 2012).

Los parámetros de calidad de servicio dentro de una red convergente, y por tanto, las principales métricas de desempeño a ser analizadas, son:

- Retardo End-to-End o Latencia
- Jitter o Variación de retardo
- Pérdida de paquetes o Packet Loss
- Rendimiento o Throughput

5.1.3.1 Retardo End to End o Latencia [ms]

Cuesta Palacios & Romero Leon (2013) especifican que retardo o latencia es el tiempo que demora un paquete de datos en viajar desde un punto emisor a otro receptor. Para este parámetro no se permiten valores negativos y en caso de presentarse, se tiene que mejorar la sincronización entre ambos extremos.

Para realizar la medición de este parámetro, se pueden utilizar varias herramientas o software de inspección de tráfico o inyección de tráfico en una red inalámbrica.

El retardo end to end es la suma de los demás retardos: retardo de transmisión + retardo por procesamiento + retardo por encolamiento + retardo por serialización + retardo por propagación (Chafla Altamirano, 2012).

5.1.3.2 Jitter o Variación de retardo [ms]

Según Kurose & Ross (2010), el fenómeno denominado Jitter o variación de retardo es el tiempo que transcurre desde el momento en que se genera un paquete en el origen hasta que se recibe en el destino y que puede fluctuar de un paquete a otro.

Esta fluctuación de paquetes es la variación de los retardos de los paquetes dentro del mismo flujo. Las aplicaciones de voz y vídeo en tiempo real pueden funcionar bien cuando el ancho de banda está completamente disponible y, por tanto, el retardo y la fluctuación son mínimos. Pero la calidad puede deteriorarse hasta unos niveles inaceptables tan pronto como el flujo de paquetes de voz o de vídeo en tiempo real llegan a un enlace moderadamente congestionado.

5.1.3.3 Pérdida de Paquetes o Packet Loss [%]

Pérdida de paquetes o packet loss es el descarte de paquetes en una red cuando un router u otro dispositivo están sobrecargados y no pueden aceptar paquetes adicionales en un momento específico. Los paquetes son las unidades fundamentales de datos transportados por una red. La pérdida de paquetes puede ser o no perjudicial para el receptor, dependiendo del tipo de servicio que esté utilizando y la gravedad de la pérdida (The Linux Information Project, 2005).

La pérdida de paquetes es producida por interferencias, atenuaciones, sobreflujos o falta de sincronización entre los dispositivos que conforman la red (Cuesta Palacios & Romero Leon, 2013).

Usuarios de servicios como streaming de video (Netflix o Youtube) o videojuegos online (Steam), son quienes se ven más perjudicados por la pérdida de paquetes, ya que en el caso del streaming de video, experimentan pausas o cortes de la transmisión o la caída

significativa de la calidad del video, mientras que en los videojuegos online, las acciones que realizan son sincronizadas con un servidor en tiempo real y pueden detenerse.

5.1.3.4 Rendimiento o Throughput [bps]

El rendimiento hace referencia al número de bits reales que se transmiten en un período de tiempo (Cuesta Palacios & Romero Leon, 2013). Corresponde a la tasa de transferencia de datos a través de una red de comunicaciones.

5.2 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA RED INALÁMBRICA (ESTÁNDAR IEEE 802.11n) EN UN AMBIENTE DE PRODUCCIÓN DENTRO DEL MREMH

5.2.1 Identificación de los Access Point presentes en los edificios del MREMH

En los edificios del MREMH, los APs se encuentran ubicados de acuerdo con la siguiente distribución, véase en la **Tabla 2**, **Gráfico 5** y **Gráfico 6**:

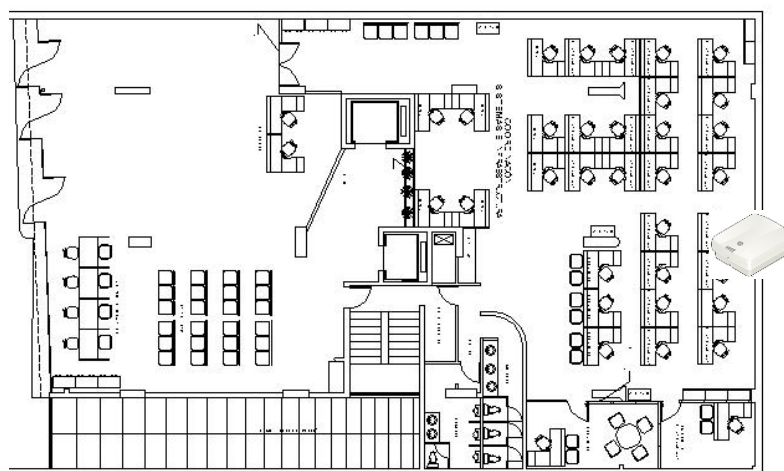
Tabla 2: Disposición de APs en las oficinas del MREMH

Edificio	Piso	Cantidad	Observación
Páez	Planta Baja	2	- Coordinación General de TIC y Dirección de Infraestructura, Operaciones y Seguridad de TIC - Dirección de Diseño e Implementación de TIC y Dirección de Soporte Técnico a Usuarios
	Piso 9	1	- Sala de Videoconferencias
Principal	Planta Baja	4	- Sala de Prensa - Dirección de Comunicación Social - Zonas comunes
	Piso 1	3	- Salón Peralta - Salón Próceres - Sala de Videoconferencias
	Piso 2	3	- Viceministerio de Movilidad Humana - Zonas comunes
	Piso 3	2	- Zonas comunes
	Piso 4	2	- Zonas comunes

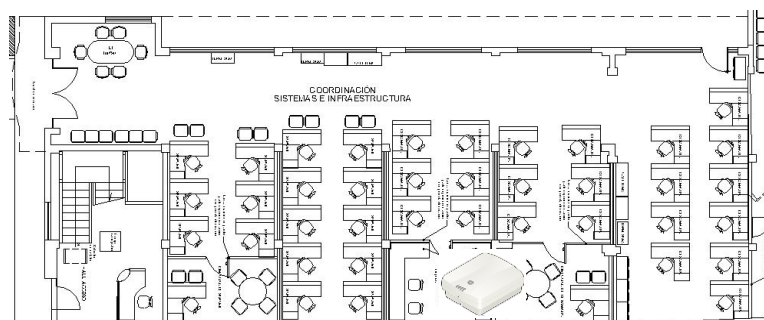
Piso 5	3	- Despacho Ministerial - Zonas comunes
Piso 6	2	- Zonas comunes
TOTAL	22	

Nota. En base a información obtenida del MREMH.

Planta Baja 1



Planta Baja 2



Piso 9

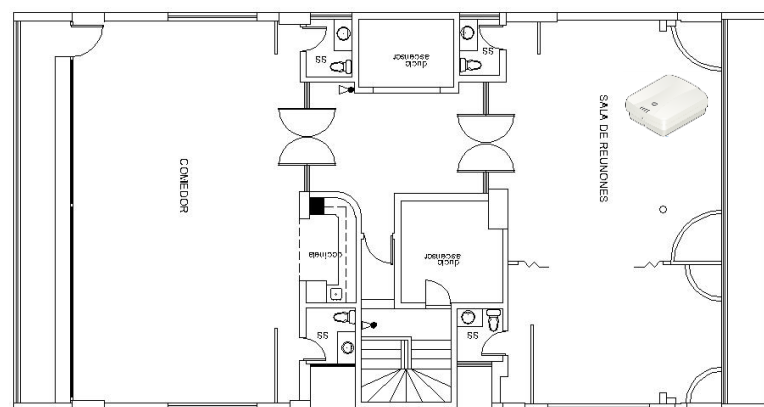
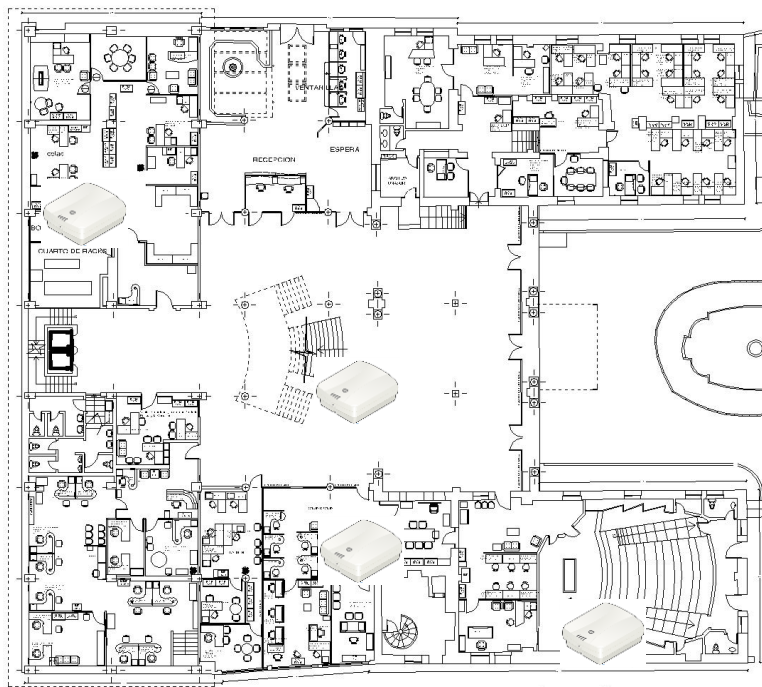
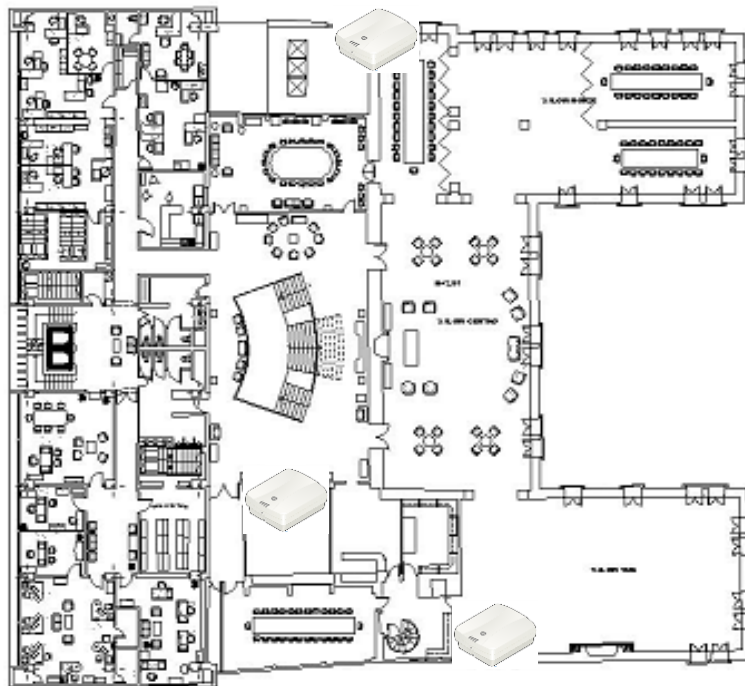


Gráfico 5: Ubicación de APs en Edificio Páez del MREMH.

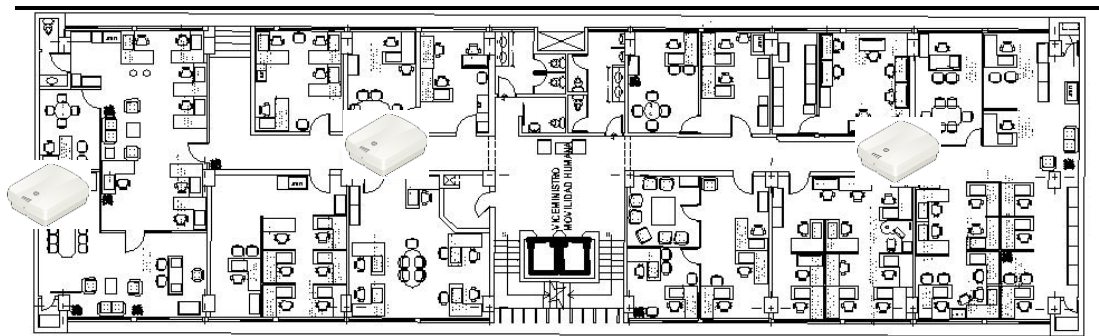
Planta Baja



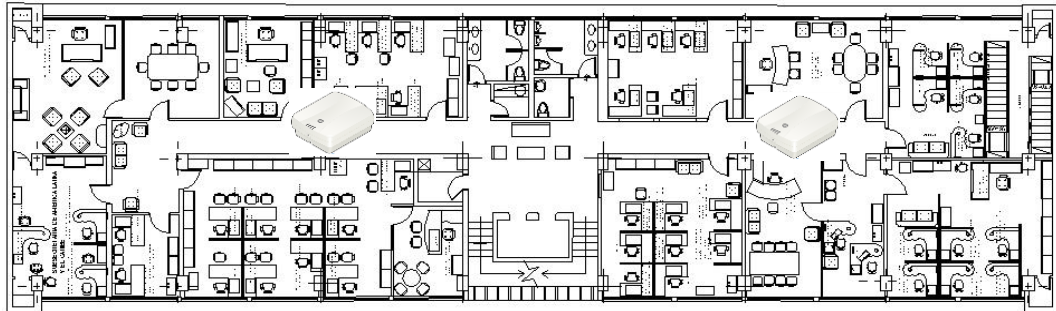
Piso 1



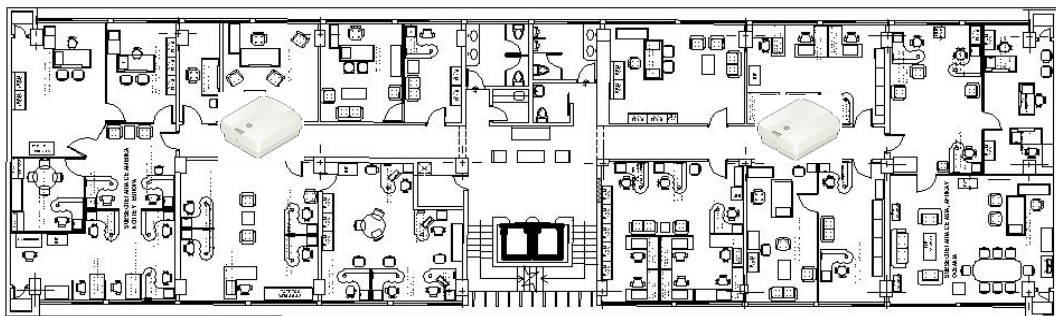
Piso 2



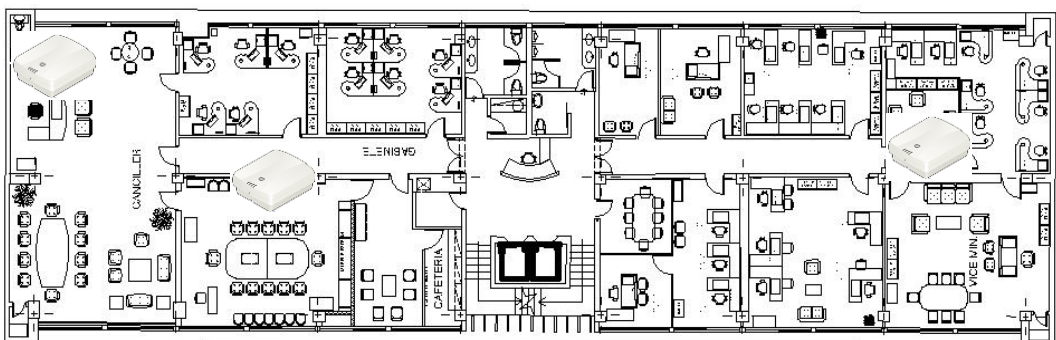
Piso 3



Piso 4



Piso 5



Piso 6

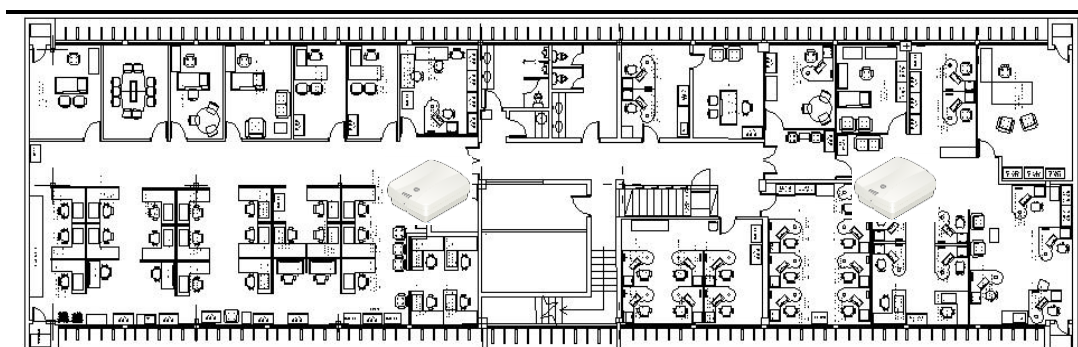


Gráfico 6: Ubicación de APs en Edificio Principal del MREMH.

5.2.2 Identificación de las redes inalámbricas configuradas para uso del MREMH

El MREMH ha generado varias redes inalámbricas de acuerdo al uso, restricciones y ubicación de los APs en la Institución, véase en la **Tabla 3**:

Tabla 3: Redes inalámbricas configuradas para el MREMH

SSID	Descripción	Estado
MREMH-DTIC	Configurada para el uso de los funcionarios de la ex Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicación.	Encendida SSID oculto Filtro de MAC Address En desuso
MREMH-Funcionarios	Configurada para el uso de computadores de los funcionarios en general del MREMH con la autorización del Jefe Inmediato.	Encendida SSID publicado Filtro de MAC Address
MREMH-MOVIL	Configurada para el uso de los dispositivos móviles de los funcionarios en general del MREMH con la autorización del Jefe Inmediato.	Encendida SSID oculto Filtro de MAC Address
MREMH-MOVIL-VIP	Configurada para el uso de los dispositivos móviles de los funcionarios del Nivel Jerárquico Superior del MREMH.	Encendida SSID oculto Filtro de MAC Address
MREMH-Min	Configurada para el uso de la Ministra y la Jefa de Despacho.	Encendida SSID publicado
MREMH-P5	Configurada para el uso de computadores y dispositivos móviles de los funcionarios general que laboran	Encendida SSID publicado

	en el Piso 5 del Edificio Principal del MREMH.	
MREMH-Prensa	Configurada para el uso de la Dirección de Comunicación Social y prensa invitada a eventos del MREMH.	Encendida SSID publicado
MREMH-Privado	Configurada para el uso de los computadores de los funcionarios del Nivel Jerárquico Superior del MREMH.	Encendida SSID publicado Filtro de MAC Address
MREMH-Publico	Configurada para el uso de computadores y dispositivos móviles externos al MREMH.	Encendida SSID publicado
MREMH-USERD	Configurada para el uso de los funcionarios del Gabinete Ministerial del MREMH.	Encendida SSID publicado
MREMH- Usuarios	-	Encendida SSID oculto
Público	-	Apagada En desuso
TEST	Configurada para la ejecución de pruebas	Encendida SSID publicado En desuso

Nota. En base a información obtenida del MREMH.

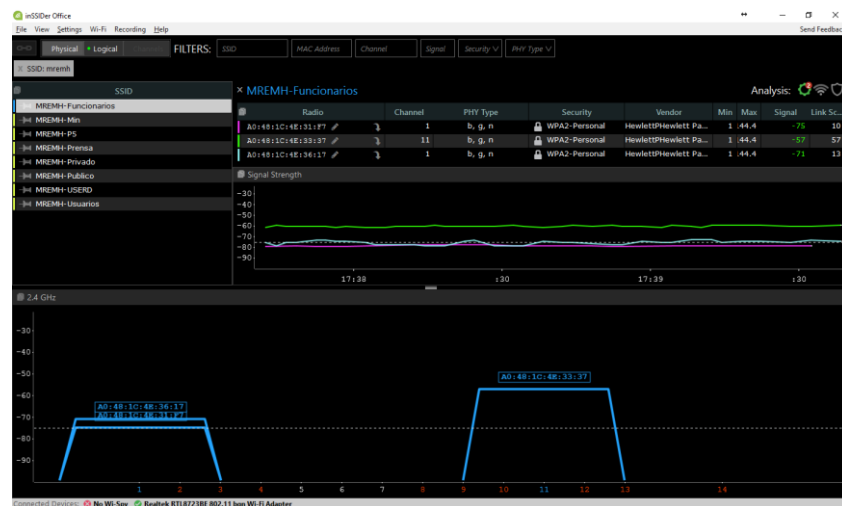
Mediante el uso de herramientas de software, se puede observar las redes señaladas en la **Tabla 3** así como las características específicas de cada una de ellas y de los APs que las administran. Algunas de estas herramientas son:

- **inSSIDer Office:** Es una herramienta de optimización y resolución de problemas de redes inalámbricas (WiFi). Mediante el adaptador WiFi del computador, escanea las redes inalámbricas y permite visualizar la fuerza de la señal y qué canales están utilizando, además de información útil de cada red (Crane, 2017).
- **NetSpot:** Es un aplicativo profesional para monitoreo de instalaciones inalámbricas, análisis Wi-Fi y solución de problemas en Mac OS X y Windows. Es sencillo de utilizar y funciona sobre cualquier red 802.11 (NetSpot, s.f.).

- **Xirrus Wi-Fi Inspector:** La herramienta Xirrus Wi-Fi se adapta a las demandas en tiempo real de las conexiones inalámbricas presentes. En especial, esta herramienta permite administrar redes de distinto tipo, asegurar una mejor experiencia para el usuario final y realizar un análisis específico de las redes inalámbricas (Riverbed Technology, Inc., 2017).

Utilizando la herramienta inSSIDer Office, se nos muestra de manera lógica, las redes configuradas y los APs cercanos al computador donde se ubican estas redes, sus canales y demás información. De manera física, la información que se observa pertenece a los APs. Véase en el **Gráfico 7**.

Vista Lógica



Vista Física

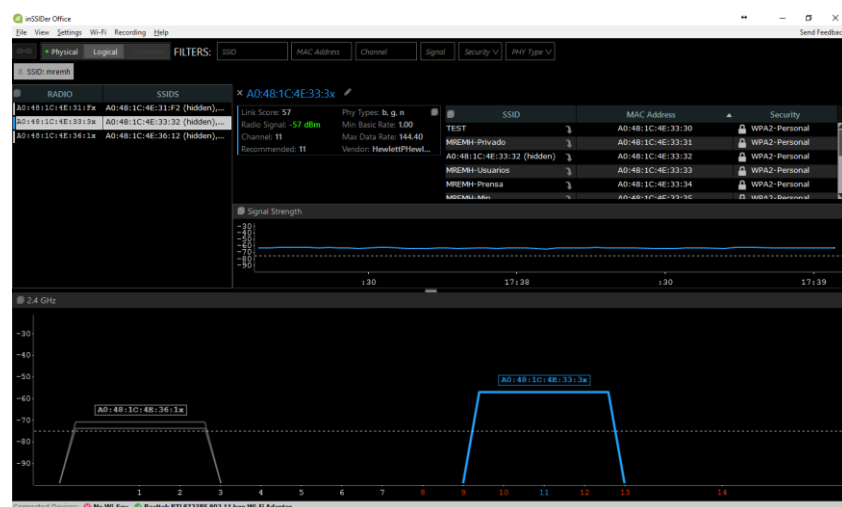


Gráfico 7: Descubrimiento de redes inalámbricas con la herramienta inSSIDer Office.

Se realizaron mediciones bajo tres escenarios en un ambiente de producción, utilizando la red inalámbrica del MREMH. Para cada una de las mediciones, se conectarán dos equipos a una de las SSID más utilizadas dentro de la Institución en tres APs.

Por su criticidad en la operación diaria del MREMH, los APs que se han seleccionado elegidos para las pruebas a realizarse son:

- AP_UIOMAT_P2_3_VMH (Viceministerio de Movilidad Humana)
- AP_UIOMAT_P5_2 (Despacho Ministerial y Viceministerio de Relaciones Exteriores)
- AP_PAEZ_PB_DDTI (Dirección de Diseño de TI y Dirección de Soporte Técnico a Usuarios)

En el primer escenario se realizaron mediciones al conectarse al SSID “MREMH-Funcionarios”, de uso común dentro de la Institución para la conexión de computadores portátiles asignados a los funcionarios.

En el segundo escenario se realizaron mediciones al conectarse al SSID “MREMH-Publico”, el cual es utilizado por computadores portátiles y dispositivos móviles que no pertenecen a la institución.

En el tercer escenario se realizaron mediciones al conectarse al SSID “MREMH-P5”, el cual es utilizado por funcionarios ubicados en un piso de trabajo estratégico, dentro de la Institución.

5.2.3 Materiales a utilizar

Para la ejecución de las mediciones, se han utilizado dos computadores portátiles con diferentes características y tres redes inalámbricas (SSID) configuradas en un ambiente de producción dentro del MREMH. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas de los dos equipos utilizados para el análisis del desempeño de la red, véase en la **Tabla 4** y **Tabla 5**:

Tabla 4: Características técnicas de computadores portátiles utilizados en la medición

Parámetros	Transmisor	Receptor
Memoria RAM	8 GB	8 GB
Procesador	Intel Core i7 / 2.5GHz	Intel Core i7 / 2.4GHz
Sistema Operativo	Windows 10 Pro 64 bits	Microsoft Windows 10 Pro 64 bits
Tarjeta de red inalámbrica	Qualcomm Atheros QCA9377 Wireless Network Adapter	Realtek RTL8723BE 802.11 bgn Wi-Fi Adapter

Nota. Equipos entregados por el MREMH.

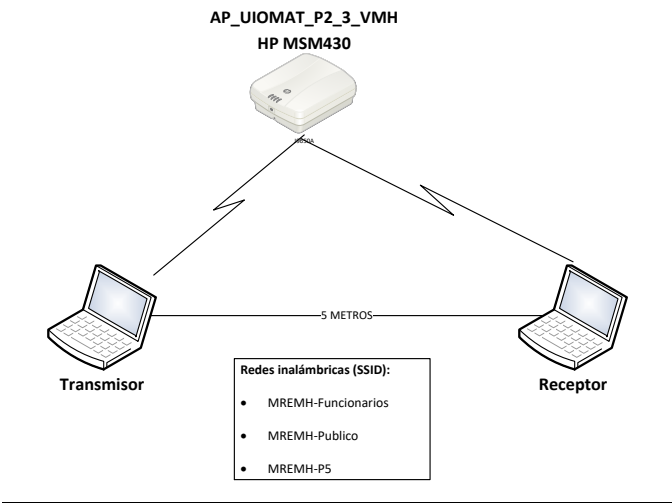
Tabla 5: Características técnicas de APs utilizados en la medición

Parámetros	Descripción
Marca	HP
Modelo	MSM430 Dual Radio 802.11n Access Point (AM) (J9650A)
Protocolo 802.11	802.11 a/n, /b/g/n
Banda de frecuencia (GHz)	2.4 GHz y 5 GHz
Velocidad Máxima (Mbps)	450 para 2.4 GHz 450 para 5 GHz
Antenas	3 antenas omnidireccionales de 5 dBi para 2.4 GHz 3 antenas omnidireccionales de 7 dBi para 5 GHz.
Memoria RAM y procesador	Dual Core / 800 MHz, 128 MB flash, 256 MB SDRAM

Nota. Características de APs (Hewlett Packard Enterprise, 2014).

5.2.4 Escenario

Como se ha mencionado, las pruebas se han realizado en un ambiente de producción dentro del MREMH, véase en el **Gráfico 8:**



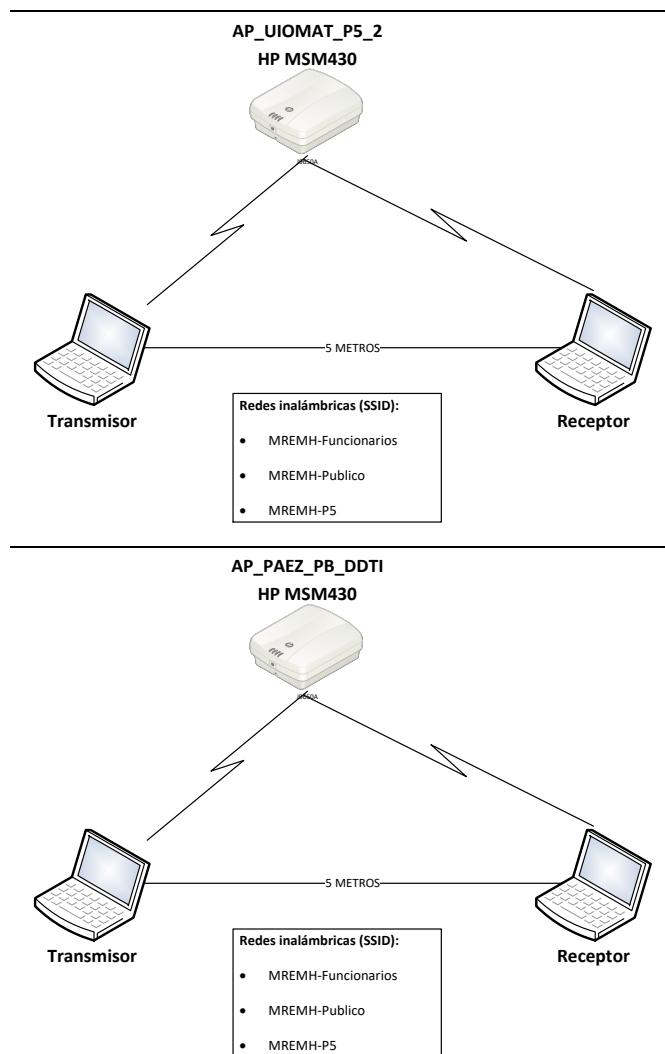


Gráfico 8: Diagramas de los escenario de pruebas

5.2.5 Configuraciones de red

El personal del MREMH ha definido una configuración de red bajo el estándar IEEE 802.11n. Cada AP ha sido configurado para trabajar sobre un ancho de canal de 20 MHz. Véase en la **Tabla 6**:

Tabla 6: Configuraciones de APs

Parámetros	Descripción
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Modo de operación	AP Only
Modo de red inalámbrica	802.11n/b/g
Ancho de canal	20 MHz
SSIDs configurados	MREMH-Funcionarios MREMH-Publico

	MREMH-P5
	1 / 6 / 11
Canal de funcionamiento	Depende de la configuración de cada AP
<i>Nota.</i> Parámetros configurados por el MREMH.	

5.2.6 Configuración de herramienta de medición

Para realizar la medición de los parámetros enumerados en el ítem anterior, se utilizará la herramienta D-ITG, la cual se utiliza para realizar mediciones activas del ancho de banda y calidad de una red IP, mediante la técnica de inyección de tráfico en redes. D-ITG se utiliza para medir de los parámetros de calidad más comunes como son el Rendimiento, el Retardo End-to-End, el Jitter o la variación de retardo y la Pérdida de paquetes (Botta, Dainotti, & Pescapè, 2012) y qué principalmente, se maneja a través de comandos de texto, véase en el **Gráfico 9**. Se pueden encontrar distintas interfaces gráficas desarrolladas por terceros, que presentan facilidades de configuración y obtención de reportes. En este caso se utilizará la interfaz denominada ITGGUI, la cual está desarrollada en un ambiente Java. Véase en el **Gráfico 10**.

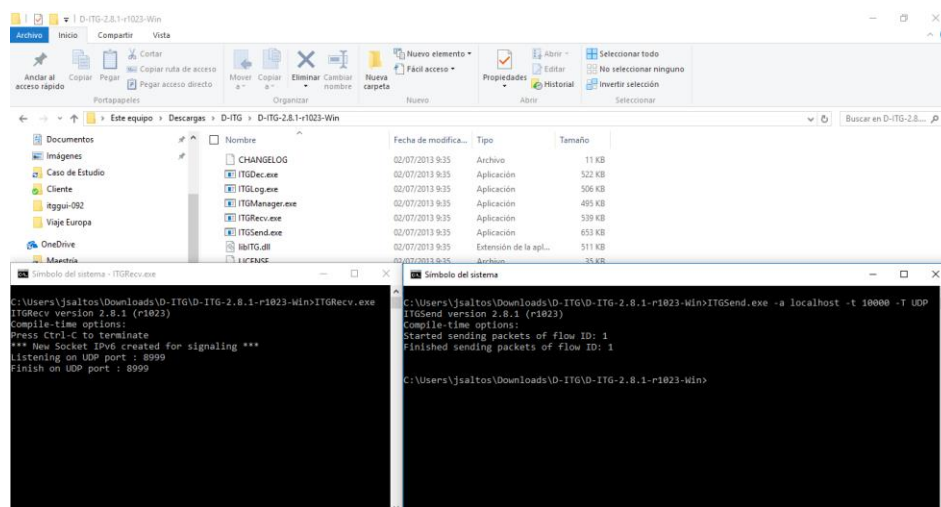


Gráfico 9: Comandos de texto de la herramienta D-ITG

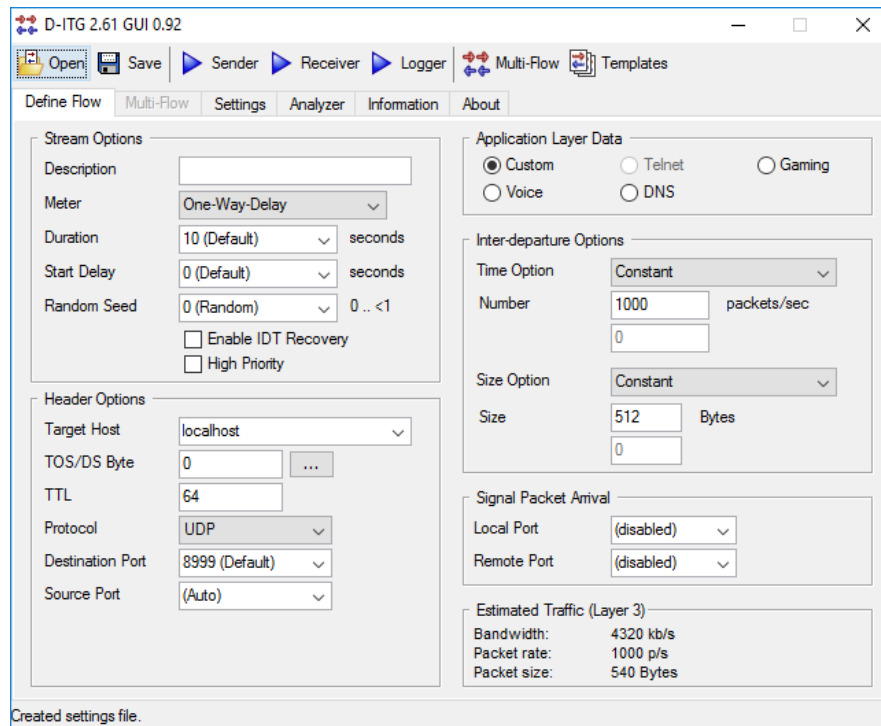


Gráfico 10: GUI desarrollada por un tercero para la herramienta D-ITG

Antes de iniciar con las mediciones de los parámetros de desempeño, la GUI ha sido configurada tanto en el equipo transmisor como en el receptor. Tomando como base el estudio realizado por Vallejo, Nicolalde Rodríguez, & Lara-Cueva (2017) en un ambiente de pruebas, utilizaremos el tráfico utilizará el protocolo UDP, un tamaño de paquete de 512 bytes y una tasa de tasa de paquetes inyectados de 2000 pkt/s. Adicionalmente, las pruebas serán con 10 conexiones paralelas. Véase en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Configuraciones en la herramienta para inyección de tráfico para todas las mediciones

Parámetros	Valor
Métrica	One way delay
Duración (s)	30
Inicio del retardo (s)	0
Protocolo	UDP
Tasa de paquetes inyectados (pkt/s)	2000
Tamaño de paquetes (bytes)	512
Transmisiones paralelas	10
Host de destino	Equipo receptor mediante su dirección IP

Nota. Parámetros configurados por el autor.

5.3 REVISIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS

Una vez realizadas las mediciones con la herramienta D-ITG, se recogen los resultados para cada métrica de desempeño:

- Retardo End-to-End o Latencia
- Jitter o Variación de retardo
- Pérdida de paquetes o Packet Loss
- Rendimiento o Throughput

Cabe mencionar que las mediciones se las han tomado en distintos horarios, en un ambiente de producción y con los equipos asignados por la institución.

5.3.1 Retardo End to End o Latencia

A continuación se presenta el retardo obtenido en todos los escenarios y se puede observar que cada medición presenta valores heterogéneos, dependiendo del AP al cual se hayan conectado los equipos de medición.

Al conectarnos a las redes institucionales desde el AP ubicado en el piso 2 del Edificio Principal, obtenemos los siguientes valores: para la red MREMH-Funcionarios, un retardo de 4.200,48 ms; para la red MREMH-P5, un retardo de 5.290,76 ms; y para la red MREMH-Publico, un retardo de 11.167,96 ms.

En el AP ubicado en el piso 5 del Edificio Principal, obtenemos los siguientes valores: para la red MREMH-Funcionarios, un retardo de 22.006,34 ms; para la red MREMH-P5, un retardo de 16.937,55 ms; y para la red MREMH-Publico, un retardo de 36.934,37 ms.

Por último, en el AP ubicado en la planta baja del Edificio Zurita, se obtienen los valores más bajos de todas las mediciones: para la red MREMH-Funcionarios, un retardo de 2.872,60 ms; para la red MREMH-P5, un retardo de 2.894,64 ms; y para la red MREMH-Publico, un retardo de 2.900,06 ms.

Si bien se puede observar que los tiempos de retardo de la última medición son menores que en los dos primeros escenarios, todas las redes presentan tiempos altos de latencia, siendo la red MREMH-Funcionarios, configurada en el AP situado en la Planta Baja del Edificio Zurita, la cual presenta un menor tiempo. Los tiempos de retardo que se observan en las redes configuradas en los APs ubicados en el Edificio Principal del MREMH, representan el uso de las mismas en los pisos en las que están configuradas y los distintos servicios que son utilizados. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta que estos APs tienen varios otros APs vecinos, lo que podría crear interferencia, así como otros aparatos electrónicos como hornos microondas y teléfonos inalámbricos. Véase en el **Gráfico 11:**

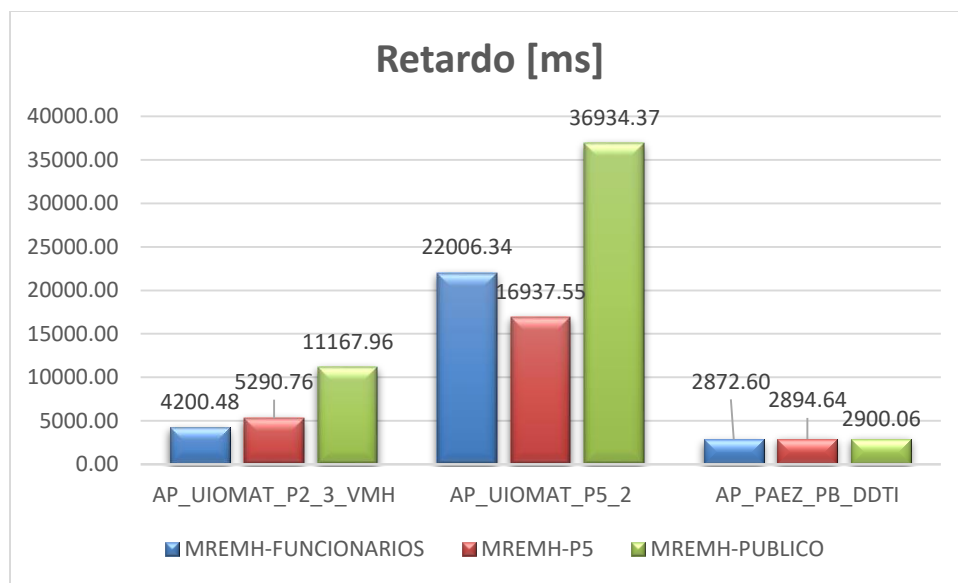


Gráfico 11: Resultados obtenidos del parámetro Retardo End-to-End

5.3.2 Jitter o Variación del Retardo

En concordancia con las mediciones del Retardo, los tiempos de jitter encontrados en las redes inalámbricas son altos para una red inalámbrica local, concebida y configurada para brindar calidad de servicio a los usuarios de la misma.

De las pruebas realizadas en el AP ubicado en el piso 2 del Edificio Principal, obtenemos valores de jitter de 5,44 ms para la red MREMH-Funcionarios, de 9,82 ms para la red MREMH-P5, y de 16,96 ms para la red MREMH-Publico.

Las mediciones realizadas en el AP ubicado en el piso 5 del Edificio Principal, reflejan valores de jitter de 47,09 ms para la red MREMH-Funcionarios, de 51,11 ms para la red MREMH-P5 y de 83,02 ms para la red MREMH-Publico. Los valores de jitter para este

AP son preocupantes y se presupone que cualquier servicio que se brinde a través de las redes configuradas, presentaría niveles de calidad pobres en cuanto al uso de aplicaciones en tiempo real.

Para finalizar, en el AP ubicado en la planta baja del Edificio Zurita, se obtienen valores de jitter de 0,36 ms en la red MREMH-Funcionarios, de 0,46 ms para la red MREMH-P5 y de 0,39 ms para la red MREMH-Publico. Como se puede observar, estos valores son muy bajos en comparación con las mediciones anteriores.

Al presentarse valores tan altos en las redes configuradas en los APs ubicados en el Edificio Principal, denota que se debe realizar una actualización en las configuraciones y políticas de cada AP por individual. Ver en el **Gráfico 12**.

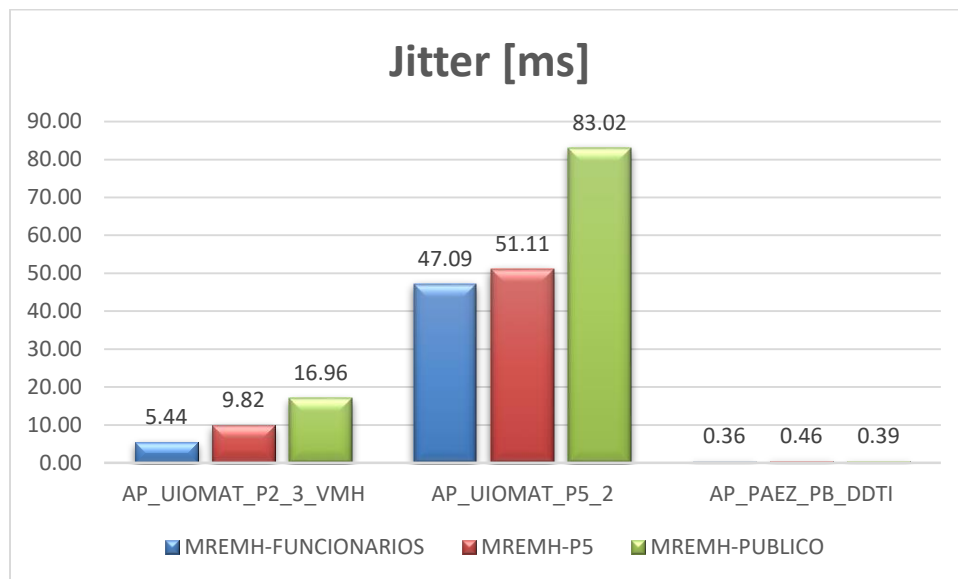


Gráfico 12: Resultados obtenidos del parámetro Jitter

5.3.3 Pérdida de paquetes o Packet Loss

Los valores de pérdida de paquetes, reflejan la sobrecarga que manejan los APs del MREMH y por tanto, el descarte de paquetes que realizan para continuar con su funcionamiento.

En el escenario de medición en el AP ubicado en el piso 2 del Edificio Principal tenemos los siguientes porcentajes: para la red MREMH-Funcionarios una tasa de 86,47 %, para la red MREMH-P5 una tasa de 90,60 % y para la red MREMH-Publico se obtuvo una tasa de 94,56 %.

En el segundo escenario, con el AP ubicado en el piso 5 del Edificio Principal, las tasas de pérdidas de paquetes son: 48,75 % para la red MREMH-Funcionarios, 32,59 % para la red MREMH-P5 y de 6,60 % para la red MREMH-Publico.

En el tercer escenario, al conectarse al AP ubicado en la Planta Baja del Edificio Zurita, obtenemos las siguientes tasas de pérdidas de paquetes: 33,15 % para la red MREMH-Funcionarios, de 52,21 % para la red MREMH-P5 y de 35,23 % para la red MREMH-Publico.

El AP ubicado en el Piso 2 del Edificio Principal, presenta tasas de pérdida de paquetes demasiado altas, este problema puede señalar que el equipo puede presentar algún defecto físico y debe ser inspeccionado, así como sus configuraciones y la carga de usuarios y tráfico que maneja diariamente. Véase en el **Gráfico 13**.

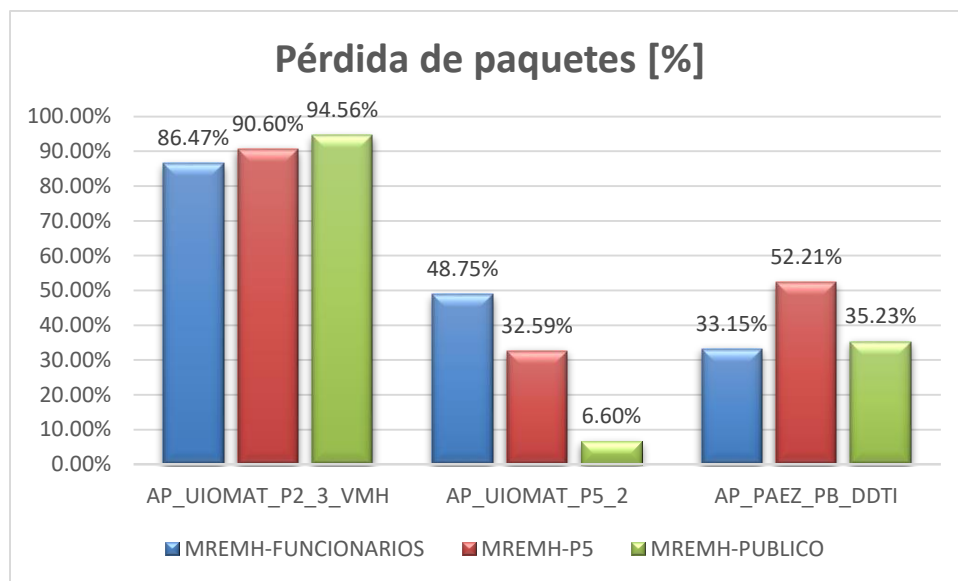


Gráfico 13: Resultados obtenidos del parámetro Pérdida de Paquetes

5.3.4 Rendimiento o Throughput normalizado

Para finalizar, se realiza el cálculo del rendimiento de cada red inalámbrica dentro de los APs institucionales y se corroboran los cálculos anteriormente presentados.

Al conectarnos a las redes institucionales desde el AP ubicado en el piso 2 del Edificio Principal: para la red MREMH-Funcionarios, un rendimiento de 0,076 Mbps; para la red MREMH-P5 de 0,056 Mbps; y para la red MREMH-Publico de 0,029 Mbps.

En el AP ubicado en el piso 5 del Edificio Principal, obtenemos los siguientes valores: para la red MREMH-Funcionarios de 0,072 Mbps; para la red MREMH-P5 de 0,009 Mbps; y para la red MREMH-Publico de 0,009 Mbps, que son rendimientos sumamente bajos.

Por último, en el AP ubicado en la planta baja del Edificio Zurita, se obtienen los siguientes valores: para la red MREMH-Funcionarios de 0,288 Mbps; para la red MREMH-P5 de 0,272 Mbps; y para la red MREMH-Publico de 0,281 Mbps.

A pesar de que las redes configuradas en el AP del Edificio Zurita presentan un mejor rendimiento en comparación con los otros dos APs utilizados en el estudio, estos no representan valores adecuados para las necesidades de cualquier institución. Véase en el **Gráfico 14**.

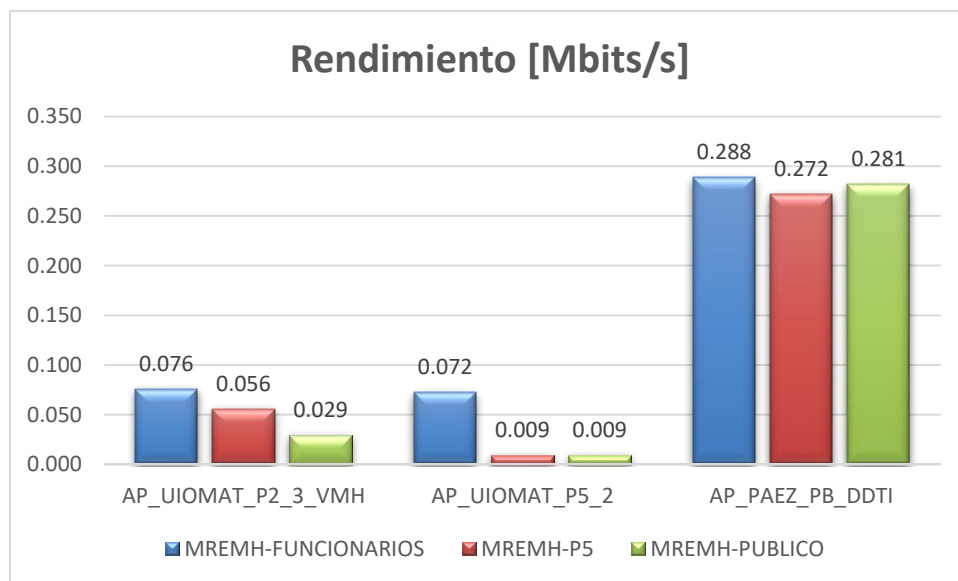


Gráfico 14: Resultados obtenidos del parámetro Rendimiento

Cabe mencionar que el momento de realizar las pruebas de inyección de tráfico, los APs sufrieron varias caídas a causa de esta técnica intrusiva. El autor debió cancelar por varias ocasiones la operación de la interfaz gráfica de la herramienta D-ITG y verificar que la red inalámbrica regrese a un estado estable de operatividad en distintos equipos y dispositivos conectados simultáneamente.

Eventos como el descrito y los valores de los parámetros presentados en esta sección, nos permite concluir que los APs utilizados presentan errores de configuración y que se deben tomar correctivos en el diseño de la red inalámbrica institucional.

Adicionalmente, cabe destacar que los APs utilizados por el MREMH, se encuentran retirados por su fabricante del mercado y actualmente se pueden encontrar soluciones con mayores prestaciones y características técnicas, así como distintas recomendaciones para el diseño de redes inalámbricas.

5.4 PROPUESTA DE MEJORA DE LA RED INALÁMBRICA INSTALADA EN LOS EDIFICIOS DEL MREMH

Una vez realizadas las mediciones y analizado los resultados de los parámetros de calidad de servicio de la red inalámbrica del MREMH, se puede observar que dicha red institucional no se encuentra configurada de manera correcta o que los equipos activos utilizados no son los adecuados para la demanda actual de funcionarios y visitantes.

Es importante recordar y destacar que las pruebas fueron ejecutadas en tres APs configurados dentro de la institución con tres de las redes que son utilizadas a diario, tanto por funcionarios como por visitantes.

Las mediciones realizadas arrojan resultados preocupantes. Estos eventos pueden transformarse en problemas serios en un futuro, por lo que deben ser tomados en cuenta y por el área encargada de la gestión de la red inalámbrica e intervenirlos con la finalidad de determinar una solución a los mismos.

A continuación se determina una propuesta de mejora para la red inalámbrica de los edificios del MREMH:

- A partir de los resultados obtenidos, es necesario que se realice una evaluación completa y total de la red inalámbrica que ha sido configurada e instalado en los edificios del MREMH. Es importante que se determine la densidad de usuarios por área que hacen uso de dicha red y se analicen los requerimientos puntuales de

los mismos en cuanto al uso del ancho de banda y las aplicaciones y servicios a utilizarse.

- Es importante determinar que actualmente los APs se encuentran configurados para funcionar sobre el estándar 802.11 n/b/g, en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, a pesar de que dichos equipos podrían trabajar sobre el estándar 802.11 n/a, en la banda de frecuencia de 5 GHz, permitiendo que los clientes trabajen en una mayor cantidad de canales y por lo tanto no existan problemas de interferencia co-canal. Se conoce de antemano que en muchas áreas de la institución, se dispone de teléfonos inalámbricos así como de hornos microondas, los cuales presentan interferencias en la conexión en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, por lo que podría reforzarse el cambio al uso de la banda de 5 GHz.
- De iniciarse un análisis para determinar el uso de la banda de frecuencia de 5 GHz, hay que tomar en cuenta un incremento en la cantidad de APs a instalarse dentro de institución, debido al corto alcance de esta frecuencia. Adicionalmente, debe ser tomado en cuenta el posicionamiento de cada uno de los equipos, a través del uso de una herramienta de software de Site Survey, que permita la captura de datos y un análisis de solapamiento de canales, mapas de cobertura, mapas de propagación de señal, etc. Todo esto debe ir de la mano de una planificación que no solamente incluya la infraestructura de red como tal, sino que incluya el uso de equipos y dispositivos que soporten y manejen el estándar IEEE 802.11n, de lo contrario, los posibles cambios no tendrán efectos que podrían validarse por el cliente.
- De decidir continuar trabajando en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, es necesario que se realice una planificación en cuanto a la determinación de canales ortogonales que utilice cada red configurada dentro de los APs.
- Al observar la cantidad de redes inalámbricas configuradas dentro de la plataforma institucional, se determina que la carga operativa tanto para los equipos como para los técnicos operadores crece a diario y genera varios problemas. La propuesta de cambio, incluye la eliminación de las SSIDs generadas y la configuración y uso de un Portal Cautivo con la opción de

autenticarse y validar el acceso a la misma, a través de un servidor RADIUS o del servicio de Directorio Activo ya implementado en la institución. Esta solución, permitiría un manejo de los niveles de acceso a través de perfiles de usuario y no de la configuración de un sinnúmero de redes inalámbricas, así como un análisis estadístico más preciso de los usuarios que hacen uso de los servicios inalámbricos dentro del MREMH.

5.4.1 Equipamiento

Tomando en cuenta que la tecnología inalámbrica implementada en el MREMH no cumple con los requerimientos actuales tanto de los funcionarios como de los visitantes, es necesario proponer que se realice un análisis sobre la adquisición de una nueva plataforma que permita mejorar la calidad de servicios y la percepción de los clientes de la red institucional.

A continuación se detallan, sin determinar una marca o fabricante específicos, las características técnicas de los equipos que el MREMH podría estudiar para una posible adquisición. Véase en la **Tabla 8**:

Tabla 8: *Características técnicas de APs para propuesta de mejora*

Parámetro	Característica
Ambiente de instalación	Indoor/Outdoor
Dual-band simultánea	Sí
Tasa de transmisión (2.4 GHz)	Al menos 800 Mbps
MIMO (2.4 GHz)	4x4 (4 antenas de transmisión y 4 antenas de recepción)
Tasa de transmisión (5 GHz)	Al menos 1.733 Mbps
MIMO (5 GHz)	4x4 (4 antenas de transmisión y 4 antenas de recepción)
Alimentación eléctrica	802.3at PoE+
Puerto Ethernet	Al menos 2 puertos 10/100/1000
Poder de transmisión (2.4 GHz)	6-25 dBm
Poder de transmisión (5 GHz)	6-25 dBm
Antenas (2.4 GHz)	6 dBi cada una
Antenas (5 GHz)	6 dBi cada una
Estándares Wi-Fi	802.11 a/b/g/n/ac/ac-wave2

Seguridad inalámbrica	WEP, WPA-PSK, WPA-Enterprise (WPA/WPA2, TKIP/AES), 802.11w (PMF)
Montura	Paredes / Techo
Temperatura para operación	-10 °C hasta 70 °C
Humedad para operación	5 % hasta 95 %
Administración de tráfico	
VLAN	802.1Q
Calidad de Servicio (QoS)	Aplicado a la tasa utilizada por usuario
Wi-Fi Multimedia (QoS en las aplicaciones multimedia)	Voz, Video, Mejor Esfuerzo y Background
Clientes concurrentes por AP	Más de 1000 clientes
<i>Nota.</i> Revisión de estado del arte por el autor.	

5.4.2 Diseño Lógico

Es importante definir un diseño lógico para la nueva implementación a realizarse, es por esto que siguiendo las políticas y estándares utilizados por el MREMH, se plantea a continuación una propuesta acorde a las recomendaciones y análisis realizados anteriormente. Véase en la **Tabla 9**:

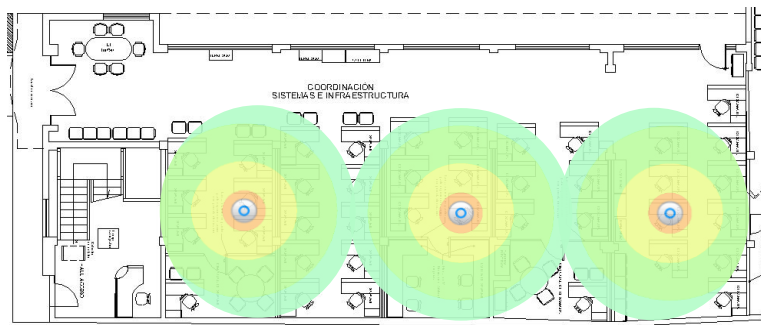
Tabla 9: *Diseño lógico para la propuesta de implementación*

Parámetro	Característica
VLANs	
VLAN Institucional	10.10.1.1/8
VLAN Invitados	172.20.10.1/16
QoS	
Seguridad	WPA2-Enterprise (Radius + Portal Cautivo)
Autenticación	A través del Directorio Activo Institucional
Estándares de trabajo	802.11 a/b/g/n/ac/ac-wave2
ACL	Configuración de listas de acceso
<i>Nota.</i> Realizado por el autor.	

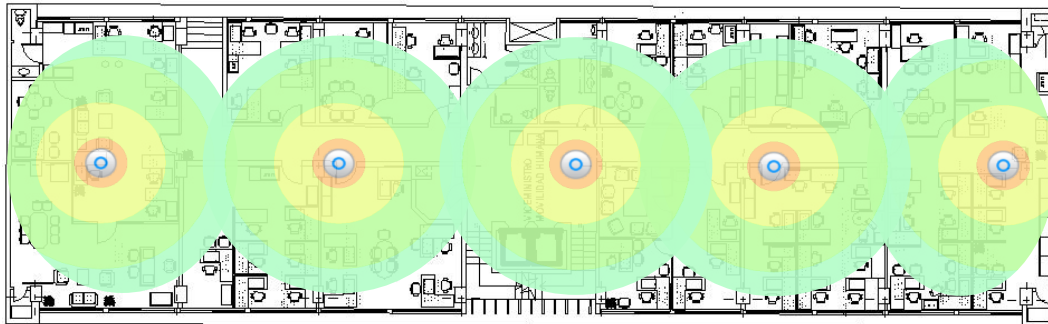
5.4.3 Posición de APs

En las áreas donde se realizaron las pruebas de inyección de tráfico y medición de parámetros de calidad de la red inalámbrica, se propone la siguiente distribución de APs, véase en el **Gráfico 15**: Propuesta de ubicación de APs en áreas de prueba del MREMH.:

Edificio Páez - Planta Baja 2



Edificio Principal – Piso 2



Edificio Principal – Piso 5

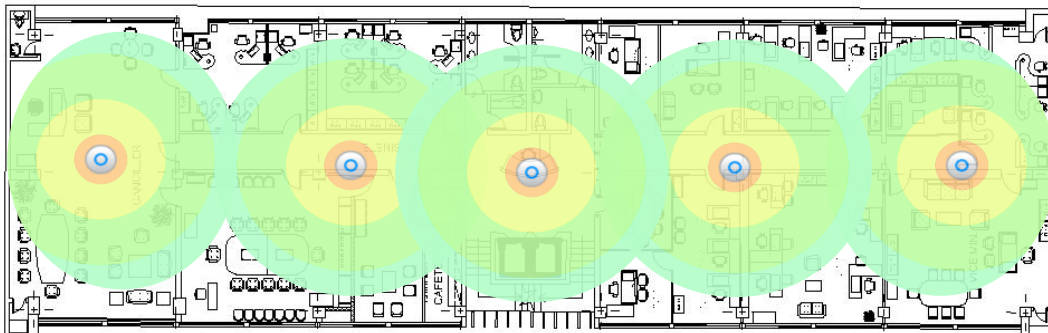


Gráfico 15: Propuesta de ubicación de APs en áreas de prueba del MREMH.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El estudio realizado, presenta un análisis práctico y una comparativa del desempeño de la red inalámbrica (estándar IEEE 802.11n) del MREMH, dentro de un ambiente de producción, mediante el cual se midieron parámetros de calidad de servicio como son retardo, jitter, pérdida de paquetes y rendimiento normalizado.
- De la toma de mediciones, se puede observar que las redes inalámbricas implementadas en los APs del MREMH, en su mayoría, no brindan parámetros de calidad de servicio para los clientes conectados. Los valores presentados en la sección correspondiente, nos da a entender que no se trata exclusivamente de la interferencia de equipos inalámbricos o el solapamiento de redes inalámbricas externas a los edificios; caso contrario, existen problemas con respecto a la configuración y niveles de acceso de las redes.
- En el presente trabajo se obtienen porcentajes de pérdida de paquetes sumamente altas, todo esto a pesar de que el estándar IEEE 802.11 usa MIMO, en donde ambos equipos que actúan en la red (transmisor y receptor), tienen múltiples antenas que deberían reducir las interferencias que afectan a las redes inalámbricas.
- En un siguiente análisis, podrían utilizarse herramientas de software especializadas en la inyección de tráfico y en la medición de parámetros de calidad, que incluyan dispositivos que permitan determinar la influencia de equipos intermedios y que hacen uso de frecuencias inalámbricas y que son fuente de interferencia.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una evaluación completa de la red inalámbrica institucional, que incluya un análisis de tráfico, un análisis de la cobertura de cada red y de las necesidades actuales por área.

- Es recomendable que se realicen pruebas y un análisis más profundo con el uso de la frecuencia de 5GHz, con la finalidad de presentar posibles cambios y soluciones para los problemas que se reflejan en las redes inalámbricas del MREMH.
- Se recomienda analizar el uso de múltiples SSIDs para la conexión de funcionarios y visitantes, y la implementación de distintas tecnologías de autenticación y determinación de niveles de acceso.
- A partir del análisis realizado, es recomendable que se genere un informe técnico, en el cual se detalle y se informe sobre la situación actual de la red inalámbrica institucional, de tal manera que las autoridades institucionales tengan conocimiento y se puedan canalizar esfuerzos para la mejora de la plataforma y por lo tanto, del servicio tecnológico.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tasa de transferencias del estándar 802.11n.....	12
Gráfico 2: Ancho de canal de 20 MHz y 40 MHz.	14
Gráfico 3: Bits de control en las tramas.	15
Gráfico 4: Interferencia de canal adyacente. Ejemplo tomado de (Metageek, s.f.).	17
Gráfico 5: Ubicación de APs en Edificio Páez del MREMH.	20
Gráfico 6: Ubicación de APs en Edificio Principal del MREMH.....	23
Gráfico 7: Descubrimiento de redes inalámbricas con la herramienta inSSIDer Office.....	25
Gráfico 8: Diagramas de los escenario de pruebas	28
Gráfico 9: Comandos de texto de la herramienta D-ITG	29
Gráfico 10: GUI desarrollada por un tercero para la herramienta D-ITG.....	30
Gráfico 11: Resultados obtenidos del parámetro Retardo End-to-End	32
Gráfico 12: Resultados obtenidos del parámetro Jitter	33
Gráfico 13: Resultados obtenidos del parámetro Pérdida de Paquetes	34
Gráfico 14: Resultados obtenidos del parámetro Rendimiento.....	35
Gráfico 15: Propuesta de ubicación de APs en áreas de prueba del MREMH.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Ventajas y desventajas de las frecuencias de operación de 2.4 GHz y 5 GHz</i>	13
Tabla 2: <i>Disposición de APs en las oficinas del MREMH</i>	19
Tabla 3: <i>Redes inalámbricas configuradas para el MREMH</i>	23
Tabla 4: <i>Características técnicas de computadores portátiles utilizados en la medición</i>	27
Tabla 5: <i>Características técnicas de APs utilizados en la medición</i>	27
Tabla 6: <i>Configuraciones de APs</i>	28
Tabla 7: <i>Configuraciones en la herramienta para inyección de tráfico para todas las mediciones</i>	30
Tabla 8: <i>Características técnicas de APs para propuesta de mejora</i>	38
Tabla 9: <i>Diseño lógico para la propuesta de implementación</i>	39

REFERENCIAS

- Acrylic WiFi. (s.f.). *Cómo mejorar el rendimiento y cobertura WiFi*. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de Acrylicwifi.com: <https://www.acrylicwifi.com/blog/como-mejorar-el-rendimiento-y-cobertura-wifi/>
- Acuña Ostios, J. H., & Aponte Joya, D. C. (2014). *Análisis del Rendimiento en Redes WLAN Caso Estudio: Wlan – Universidad Católica de Colombia Sede El Claustro (SCUCC)*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1300/3/Articulo_trabajo%20de%20grado.pdf
- Alarcón Ávila, R. (2007). Inseguridad en redes inalámbricas - WLAN. *Ingenio Libre*, 5. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista6/articulos/Inseguridad-en-redes-inalambricas-WLAN.pdf>
- Aman, M. N., & Sikdar, B. (2012). A CART Based Mechanism for Collision Detection in IEEE 802.11. *IEEE Latin-America Conference on Communications*, (págs. 1-6). Cuenca.
- Bernal, I. (2007). *Redes Locales Inalámbricas*. Quito.
- Bernal, I. (2008). *Comunicaciones Inalámbricas*. Escuela Politecnica Nacional, Quito.
- Botta, A., Dainotti, A., & Pescapè, A. (2012). A tool for the generation of realistic network workload for emerging networking scenarios. *Computer Networks*, 56(15), 3531-3547. Obtenido de <http://www.grid.unina.it:10.1016/j.comnet.2012.02.019>

Cisco Systems, Inc. (19 de Noviembre de 2015). *Key Performance Benefits of 802.11n*.
Obtenido de Cisco.com:
http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise-networks/802-11n/white_paper_c11-513840.html

Crane, J. (Junio de 2017). *inSSIDer Office User Guide*. Obtenido de metageek.com:
<https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/204158620-inSSIDer-Office-User-Guide#Overview>

Cuesta Palacios, V. d., & Romero Leon, C. A. (2013). *Evaluación de tecnología IEEE 802.11n en redes de larga distancia*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.

Cuesta Palacios, V., & Romero Leon, C. (Febrero de 2013). Evaluacion de tecnologia 802.11n en redes de larga distancia. Loja, Ecuador.

Facchini, H. A. (2010). *Rendimiento del Estándar 802.11n - Estrategias de Migración*. La Plata.

Guevara, R., & Serna, E. (s.f.). *Una propuesta de solucion al problema de la interferencia entre redes WiFi por solapamiento de canales*. Medellin, Colombia.

Hewlett Packard Enterprise. (27 de Mayo de 2014). QuickSpecs - HP MSM-802.11n Dual Radio Access Point Series. HPE.

Hiertz, G. R., Denteneer, D., Stibor, L., Zang, Y., Pérez Costa, X., & Walke, B. (2010). The IEEE 802.11 Universe. *IEEE Communications Magazine*.

iPerf. (s.f.). *iPerf - The ultimate speed test tool for TCP, UDP and SCTP*. Obtenido de iperf.fr: <https://iperf.fr/>

K, R. (11 de Junio de 2009). *What is IEEE 802.11n, what are the advantages and challenges for 802.11n in Wi-Fi networks*. Obtenido de Excitingip.com: <http://www.excitingip.com/186/what-is-ieee-80211n-what-are-the-advantages-and-challenges-for-80211n-in-wi-fi-networks/>

Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2010). *Redes de Computadoras: Un enfoque descendente* (Quinta ed.). Madrid, España: Pearson Educación S.A.

Kurose, J., & Ross K.W. (2044). *Redes de Computadores: Un enfoque descendente basado en internet*. Pearson Addison Wesley.

Lara-Cueva, R., Fernández Jiménez, C. B., & Morales Maldonado, C. A. (2016). Análisis del desempeño en un enlace descendente de redes basadas en los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11n y WDS. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, 5(10).

Lema Ayala, L. Á., & Saltos Vaca, J. S. (2011). *Guía para Evaluar el Desempeño de Redes de Computación*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6370>

Metageek. (s.f.). *Why Channels 1, 6 and 11?* Recuperado el 26 de Junio de 2017, de metageek.com: <http://www.metageek.com/training/resources/why-channels-1-6-11.html>

Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. (s.f.). *Misión / Visión / Valores*. Obtenido de www.cancilleria.gob.ec: <http://www.cancilleria.gob.ec/valores-mision-vision/>

Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. (s.f.). *Sede del Ministerio de Relaciones Exteriores*. Obtenido de www.cancilleria.gob.ec: <http://www.cancilleria.gob.ec/historia-sede>

NetSpot. (s.f.). *WiFi Site Survey, Análisis, Solución de Problemas de la conectividad con la red Wi-Fi*. Obtenido de netspotapp.com: <https://www.netspotapp.com/es/>

Ostinato.org. (s.f.). *Ostinato Network Traffic Generator*. Obtenido de <https://ostinato.org/>: <https://ostinato.org/>

Perahia, E. (2008). IEEE 802.11n Development: History, Process, and Technology. *IEEE Communications Magazine*.

Phifer, L. (Julio de 2016). *Mejores prácticas para la seguridad WLAN: integración entre LAN y WLAN, estándar 802.11*. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de SearchDataCenter en Español: <http://searchdatacenter.techtarget.com/es/tutoriales/Mejores-practicas-para-la-seguridad-WLAN-integracion-entre-LAN-y-WLAN-estandar-80211>

Poole, I. (s.f.). *IEEE 802.11n Standard*. Obtenido de Radio-electronics.com: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>

Posey, B. (31 de Julio de 2002). *WLAN issues that require consideration*. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de TechRepublic.com: <http://www.techrepublic.com/article/wlan-issues-that-require-consideration/>

Ramon Ramirez, L. (2005). *Sistemas de radiocomunicaciones*. Ediciones Parainfo, S.A.

Redpine Signals. (6 de Enero de 2011). *IEEE 802.11n advantage*. Obtenido de Redpinesignals.com: <http://www.redpinesignals.com/pdfs/Why11n.pdf>

Riverbed Technology, Inc. (2017). *Riverbed Xirrus - The Fastest and Most Secure Wi-Fi on the Planet*. San Francisco: Riverbed Technology, Inc. Obtenido de <https://www.riverbed.com/document/fpo/xirrus/xirrus-in-brief.pdf>

Sallent Roig, J. O., Valenzuela González, J. L., & Agustí Comes, R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Barcelona, España: Edicions UPC.

Scricca Yanes, L. (s.f.). Planificaciones móviles en entornos complejos: Planificación de redes LTE.

Sendra, S., García, M., Turro, C., & Lloret, J. (2011). WLAN IEEE 802.11 a/b/g/n Indoor Coverage and Interference Performance Study. *International Journal on Advances in Networks and Services*, 4(1 y 2), 209-222.

Vallejo, M. A., Nicolalde Rodríguez, D., & Lara-Cueva, R. (2017). *Performance Evaluation of Wireless Network in conformance with IEEE 802.11n in Co-Channel Interference Scenarios*. IEEE.

Wahl, H.-D. (29 de Enero de 2015). *WLAN: ¿Qué son las Redes de Alta Densidad?* Recuperado el 19 de Junio de 2017, de Teldat.com: <http://www.teldat.com/blog/es/wlan-what-are-high-density-networks/>

Zambrano Vega, L., & Castillo Arias, C. A. (s.f.). Simulación y Optimización de MIMO Systems usando beamforming a través de la descomposición de valores singulares.

ANEXOS

Los anexos incluyen las mediciones realizadas con la herramienta D-ITG y su interfaz gráfica en cada uno de los APs y redes inalámbricas determinadas previamente.

1. Mediciones en el Access Point AP_UIOMAT_P2_3_VMH

RED: MREMH-FUNCIONARIOS

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	3795,037	4,035	82,64%	1,355043185
2	3813,684	3,889	82,41%	1,417871994
3	3857,345	4,62	85,67%	1,186145703
4	3999,066	5,515	86,65%	0,922935038
5	3986,398	5,544	86,86%	0,908287106
6	4290,612	5,986	87,85%	0,833082808
7	4283,559	5,734	87,43%	0,861443073
8	4576,994	6,253	88,11%	0,80796409
9	4606,606	6,173	88,08%	0,809232185
10	4795,542	6,66	89,03%	0,765294238
Total	4153,929	7,915	86,47%	7,621753007
Promedio	4200,4843	5,4409	86,47%	0,986729942

RED: MREMH-P5

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	5111,426	9,182	89,95%	0,649101728
2	5159,665	9,134	90,12%	0,639973001
3	5279,749	9,813	90,75%	0,602142183
4	5545,9	10,238	91,19%	0,580077027
5	5918,587	10,663	92,49%	0,596927628
6	5493,359	11,133	93,32%	0,608480837
7	5539,077	11,069	93,20%	0,618737084
8	5044,164	11,6	93,69%	0,600814501
9	4999,85	11,662	93,83%	0,588095486
10	4815,773	3,677	77,49%	1,763905926
Total	5212,437	14,562	90,60%	5,084699013
Promedio	5290,755	9,8171	90,60%	0,72482554

RED: MREMH-PUBLICO

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	9404,07	13,102	92,46%	0,473548994
2	10022,889	14,062	92,97%	0,440454833
3	11085,217	15,651	94,15%	0,406437784
4	9630,498	20,524	96,20%	0,325476773
5	10159,047	19,381	95,70%	0,312862743
6	11429,243	20,926	96,12%	0,277595756
7	11465,244	21,653	96,25%	0,26816347
8	12045,296	17,246	94,98%	0,35412341
9	13260,803	13,505	93,39%	0,477756187
10	13177,278	13,507	93,42%	0,475225188
Total	11196,845	25,327	94,56%	1,641544412
Promedio	11167,9585	16,9557	94,56%	0,381164514

2. Mediciones en el Access Point AP_UIOMAT_P5_2**RED: MREMH-FUNCIONARIOS**

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	13628,429	60,743	2,58%	0,038828539
2	15633,853	49,256	1,81%	0,038060399
3	19607,409	30	0,00%	0,043280651
4	22556,113	71,965	99,15%	0,032387915
5	22569,179	71,281	99,12%	0,032432819
6	20214,428	53,675	0,78%	0,062033611
7	19593,138	67,839	0,52%	0,063543539
8	34362,79	24,696	94,81%	0,221506261
9	33553,747	25,169	93,60%	0,218381942
10	18344,341	16,291	95,11%	8,615883015
Total	26637,547	67,281	95,13%	0,348252565
Promedio	22006,3427	47,0915	48,75%	0,936633869

RED: MREMH-P5

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	11846,955	38,798	0,58%	0,055470474
2	13593,443	46,441	99,12%	0,047181693
3	14655,423	42,158	1,55%	0,060826941
4	24209,622	29,031	37,16%	0,156919791
5	24141,104	31,692	41,88%	0,144815091
6	23466,32	28,701	74,06%	0,274467662
7	22331,832	25,064	70,29%	0,308895417
8	10448,736	99,875	0,25%	0,047927774
9	13043,619	83,394	0,25%	0,039104994
10	11638,45	85,982	0,76%	0,043195621
Total	20041,911	73,13	86,77%	0,230596237
Promedio	16937,5504	51,1136	32,59%	0,117880546

RED: MREMH-PUBLICO

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	29049,181	83,533	1,94%	0,039825064
2	32826,472	96,985	4,69%	0,034832845
3	35126,273	117,788	7,81%	0,029145993
4	44018,504	119,422	6,41%	0,025816251
5	44961,419	113,269	5,47%	0,030684497
6	66525,287	63,141	0,00%	0,064904066
7	66525,891	64,244	0,78%	0,063719981
8	19009,929	84,144	0,98%	0,082211876
9	18907,232	78,499	0,39%	0,080163297
10	12393,543	9,148	37,54%	0,722221553
Total	22238,522	135,961	25,49%	0,286234349
Promedio	36934,3731	83,0173	6,60%	0,117352542

3. Mediciones en el Access Point AP_PAEZ_PB_DDTI

RED: MREMH-FUNCIONARIOS

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	2876,681	0,372	33,98%	3,694607851
2	2864,138	0,379	32,63%	3,771473771
3	2877,629	0,361	32,49%	3,784799134
4	2870,881	0,357	32,15%	3,789402294
5	2877,858	0,365	34,28%	3,675835401
6	2868,089	0,363	31,61%	3,814258861
7	2872,18	0,369	33,53%	3,714115876
8	2874,816	0,351	34,33%	3,68774604
9	2873,575	0,364	34,06%	3,685982577
10	2870,106	0,34	32,39%	3,882286243
Total	2872,558	0,536	33,14%	37,15266667
Promedio	2872,5953	0,3621	33,15%	3,750050805

RED: MREMH-P5

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	2903,776	0,47	54,01%	3,473236834
2	2898,246	0,468	51,86%	3,569871222
3	2885,265	0,458	52,82%	3,573756299
4	2896,357	0,475	50,42%	3,5367457
5	2889,04	0,468	50,41%	3,479242881
6	2900,345	0,46	52,83%	3,521198628
7	2895,035	0,452	53,60%	3,512071412
8	2890,41	0,465	51,50%	3,503794209
9	2896,016	0,462	51,11%	3,573811029
10	2891,921	0,444	53,49%	3,629941511
Total	2894,626	0,746	52,24%	34,59797603
Promedio	2894,6411	0,4622	52,21%	3,537366973

RED: MREMH-PUBLICO

	Retardo (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de paquetes	Rendimiento (Mbit/s)
1	2900,544	0,395	34,59%	3,668211961
2	2894,27	0,4	35,19%	3,640680204
3	2896,575	0,399	34,02%	3,698315783
4	2896,707	0,407	35,74%	3,602847347
5	2903,973	0,399	35,14%	3,623554871
6	2900,757	0,393	36,02%	3,584387076
7	2898,344	0,398	35,32%	3,636225681
8	2899,196	0,397	37,90%	3,500827004
9	2901,019	0,377	33,89%	3,743122147
10	2909,241	0,375	34,48%	3,881849579
Total	2900,114	0,595	35,22%	35,89493024
Promedio	2900,0626	0,394	35,23%	3,658002165